

## OPTICAL ELEMENT AND SPECTRAL DEMULTIPLEXER USING THE SAME

**Patent number:** JP2002182026  
**Publication date:** 2002-06-26  
**Inventor:** KIKKO SHIGEO; NAKAZAWA TATSUHIRO  
**Applicant:** NIPPON SHEET GLASS CO LTD  
**Classification:**  
- **International:** G02B5/18; G01J3/12; G01J3/18; G02B5/30; G02B6/12  
- **European:**  
**Application number:** JP20000383628 20001218  
**Priority number(s):**

### Abstract of JP2002182026

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To overcome the problem in a device inevitably getting large-sized for the purpose of improving performance of an optical demultiplexer utilizing a diffraction grating because wavelength dependence of an outgoing angle from the diffraction grating is small.

**SOLUTION:** In an optical element making use of an end face of a periodic multi-layer structure as a light incident plane or a light emitting plane, a high resolution spectral demultiplexer is realized without making the device large-sized by utilizing excellent directivity of light leaked out from the multi-layer structure and large wavelength dependence of the angle. Furthermore, light emitting efficiency is improved by arranging a reflection layer on one surface of the multi-layer structure.

.....  
Data supplied from the **esp@cenet** database - Patent Abstracts of Japan

**BEST AVAILABLE COPY**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-182026

(P2002-182026A)

(43) 公開日 平成14年6月26日 (2002.6.26)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード <sup>*</sup> (参考)
G 0 2 B 5/18		G 0 2 B 5/18	2 G 0 2 0
G 0 1 J 3/12		G 0 1 J 3/12	2 H 0 4 7
	3/18		2 H 0 4 9
G 0 2 B 5/30		G 0 2 B 5/30	
	6/12		N
		6/12	
審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 9 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願2000-383628(P2000-383628)

(22) 出願日 平成12年12月18日 (2000.12.18)

(71) 出願人 000004008

日本板硝子株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目7番28号

(72) 発明者 橘高 重雄

大阪府大阪市中央区北浜4丁目7番28号

日本板硝子株式会社内

(72) 発明者 中澤 達洋

大阪府大阪市中央区北浜4丁目7番28号

日本板硝子株式会社内

(74) 代理人 100069084

弁理士 大野 精市

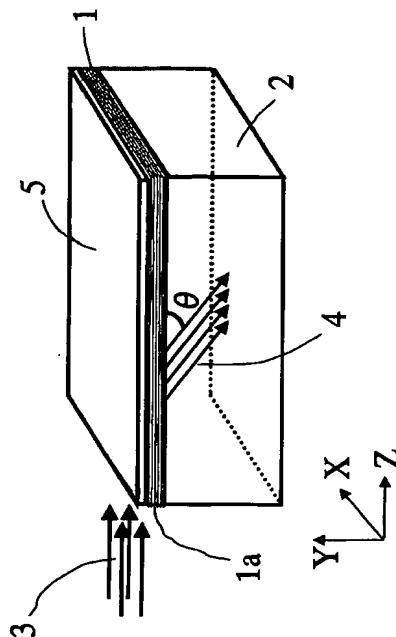
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学素子およびそれを用いた分光装置

(57) 【要約】

【課題】回折格子からの出射角の波長依存性は小さいため、回折格子を使用した光分波器の性能を向上させるためには装置を大型化せざるを得ないという問題点があった。

【解決手段】周期的多層構造体の端面を光入射面、もしくは光出射面とする光学素子において、この多層構造から漏出する光の指向性が良く、その角度の波長依存性が大きいことを利用し、装置を大型化することなく高分解能の分光装置を実現することができる。さらに多層構造体の一方の表面に反射層を設けることにより、出射効率を向上できる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】周期的多層構造体によって構成され、該周期的多層構造体の層面と平行でない端面を光入射面もしくは光出射面の少なくとも一方として使用することを特徴とする光学素子において、前記周期的多層構造体の一方の表面と平行に光反射手段を設けたことを特徴とする光学素子。

【請求項 2】前記光反射手段が多層構造体表面に形成した金属薄膜であることを特徴とする請求項 1 に記載の光学素子。

【請求項 3】前記光反射手段が多層構造体表面に形成した誘電体多層膜層であることを特徴とする請求項 1 に記載の光学素子。

【請求項 4】前記周期的多層構造体が、使用波長に対して透明な基板上に形成した周期的に同じ構造を繰り返す光学的多層膜層であることを特徴とする請求項 1 に記載の光学素子。

【請求項 5】請求項 4 に記載の光学素子において、光反射手段を前記光学的多層膜層と基板が接する面に対向する前記光学的多層膜層表面に形成したことを特徴とする光学素子。

【請求項 6】請求項 4 に記載の光学素子において、光反射手段を前記光学的多層膜層と基板との間に形成したことを特徴とする光学素子。

【請求項 7】請求項 1 に記載の光学素子と、該光学素子の光入射面に複数波長の混合した光束を入射させる手段と、前記光学素子の光反射手段を設けていない表面から波長ごとに異なる角度で出射される光線を検出する手段とからなることを特徴とする分光装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光通信システム、光計測機器等に用いられる光学素子および分光装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】近年、インターネットの急速な普及により、光ファイバー通信網の容量の増大が強く求められており、その手段として WDM（波長多重）通信の開発が急速に進められている。WDM 通信においては、わずかな波長差の光が個別の情報を伝達することから、波長選択性の良い光分波器、フィルタ、アイソレータといった光学機能素子が必要である。上記機能素子においては、量産性、小型化、集積化、安定性などが強く求められていることは言うまでもない。

【0003】波長多重光通信のように人為的に複数の波長が多重化された光信号を分波・検出する目的や、分光測定のように被測定光のスペクトル解析等の目的に光分波器（または分光器）が用いられる。この光分波器には、プリズム、波長フィルタ、回折格子等の分光素子が必要とされる。とくに回折格子は代表的な分光素子であ

り、石英やシリコン基板などの表面に周期的な微細凹凸構造を形成したものが用いられている。その周期的凹凸構造によって発生する回折光が互いに干渉し、ある特定波長の光が特定の方向に出射される。この特性が分波素子として利用されている。

【0004】回折格子を用いた分光光学系の一例を図 14 に示す。光ファイバ 21 から出射した波長多重化された光線 30 はコリメータレンズ 22 で平行光 31 となり回折格子 23 に入射される。この光は回折格子 23 で分波され、波長ごとに異なった出射角をもって出射される。この出射光 32 は再びコリメータレンズ 22 を通過し、受光面 24 上に集光スポット群 40 を形成する。この各集光スポットの位置に受光手段としてフォトダイオードなどの光検出器、あるいは光ファイバの端面を設置すれば、所定の波長毎に分離した信号出力を得ることができる。また、回折格子に入射する光が連続スペクトルをもっていれば、受光面に設置する受光手段の間隔に応じてスペクトルの離散化した出力が得られる。

【0005】反射回折格子の場合、回折格子の回折次数を  $m$ 、格子定数を  $d$ 、使用波長を  $\lambda$  とし、回折格子を形成した面の法線と入射光線（光ファイバの光軸 5）のなす角を  $\theta_i$ 、出射光線のなす角を  $\theta_o$  とすると、次式が成り立つ。

$$\sin \theta_i + \sin \theta_o = m \lambda / d$$

$\theta_i$  を一定とし、波長が  $\Delta \lambda$  だけ変化すると、回折格子から距離  $L$  だけ離れた受光面上に到達する光線の位置の変化  $\Delta x$  は、

$$\Delta x = (L m / (d \cdot \cos \theta_o)) \cdot \Delta \lambda$$

で与えられる。したがって波長間隔に応じて上式から計算される位置間隔で受光手段を受光面上に配列しておけば、各波長ごとに分離した信号が得られる。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかし、回折格子からの出射角の波長依存性は小さい。例えば、光通信で用いられる波長  $1.55 \mu\text{m}$  帯で波長間隔  $0.8 \text{ nm}$ （周波数間隔  $100 \text{ GHz}$  に相当）の光を分波する場合を考える。回折次数  $m=25$  次とし、入射角  $\theta_i=71.5^\circ$ 、出射角  $\theta_o=38.5^\circ$  とすると、回折格子の格子定数  $d$  は  $24.7 \mu\text{m}$  となる。この系で上記波長間隔  $0.8 \text{ nm}$  に対して得られる出射角の変化は約  $0.06^\circ$  に過ぎず、 $50 \mu\text{m}$  間隔で配列した受光素子でこれを分離して受光するためには  $L=48 \text{ mm}$  の距離が必要となる。

【0007】すなわち、受光面上の光スポットの位置変化  $\Delta x$  は受光手段が一定の大きさをもつため、通常数  $10 \mu\text{m}$  以上とする必要がある。回折格子の定数である  $m$ 、 $d$  は大きくは変えられないため、小さい波長変化  $\Delta \lambda$  に対して必要な  $\Delta x$  を得るためには距離  $L$  を大きくする必要があり、回折格子を使用した光分波器の性能を向上させるためには装置を大型化せざるを得ないという問

題点があった。

【0008】本発明はこのような問題点を解決するためになされたもので、回折格子より波長に対して大きな角度変化を生じる光学素子を提供し、分光光学系を小型化するとともに、入射光強度に対する出射光強度の比を向上させる手段を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明においては、周期的な多層構造体によって構成される光学素子において、この多層構造体の層面と平行でない端面を光入射面もしくは光出射面の少なくとも一方として使用する光学素子を提案する。このような光学素子においては周期的多層構造体の一方の表面に光反射手段を設けることが望ましい。この光反射手段は金属薄膜あるいは誘電体多層膜層であることが好ましい。

【0010】この周期的多層構造体の典型的な形態は、使用波長に対して透明な基板上に形成した周期的に同じ構造を繰り返す光学的多層膜層である。この場合、光反射手段は光学的多層膜層と基板が接する面に対向する光学的多層膜層表面に設けるか、あるいは光学的多層膜層と基板との間に設ける。

【0011】上記の光学素子と、その光入射面に複数波長の混合した光束を入射させる手段と、前記光学素子の光反射手段を設けていない表面から波長ごとに異なる角度で出射される光線を検出する手段とから分光装置を構成できる。

【0012】本発明では、周期的多層構造体の端面を光入射面、もしくは光出射面とする光学素子において、この多層構造体から漏出する光の指向性が良く、その角度の波長依存性が大きいことを利用するものである。この周期的多層構造体の一方の表面に光反射手段を設けることにより、出射光強度を高めることができる。具体的には、多層膜層の片側表面に多層干渉反射膜あるいは金属膜などの光反射面を形成し、その片側表面からの屈折光漏洩を防ぐことで他方の表面からの出射光強度を増強した構造の光学素子が提供できる。

【0013】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について具体的に説明する。光機能素子のなかで、光の波長程度もしくはそれ以下の厚さを有する薄膜を石英やガラスなどの基板上に積層した多層膜を、反射防止膜、偏光分離フィルタ、波長選択性フィルタなどとして利用した光学素子は既に実用化しており、広く用いられている。

【0014】ところで、光学的多層膜の利用にあたっては、通常基板表面に設けた多層膜層の最上面から最下面まで貫通する光線を前提として考えられているものがほとんどである。多層膜層の端面、すなわち周期的構造が露出している面を、光入射面もしくは光出射面として使用した例としては、以下のようなものがあるに過ぎない。

【0015】傾いた多層膜層の断面に入射する光線の方向の理論的な解析が示され (Applied Physics B, 39 巻, p. 231, 1986年)、また、構造的複屈折による偏光分離をねらいとし、多層膜層の屈折率がTE, THの偏光によって大きく異なる性質 (いわゆる構造的複屈折) を利用して、複屈折材料と同様の偏光分離効果を得たことが開示されている (Optics Letters 15巻, 9号, p. 516, 1990年)。さらに周期的多層膜層を1次元フォトリソグラフィと考へ、第1バンドの形状がバンドギャップ近傍で直線状となることから、非常に大きい分散 (スーパープリズム効果) が得られるとした報告もある ("International Workshop on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures" Technical Digest, F1-3)。本発明者らはこれらの基礎的研究成果から示唆を受けて以下に説明する光学素子の発明に至った。

【0016】図1は本発明の実施形態における光学素子を模式的に示した斜視図である。透明な平行平面基板2の片側表面に、周期的多層膜層1を形成する。多層膜層は、例えば厚さ $t_A$ の物質A (屈折率、 $n_A$ ) と厚さ $t_B$ の物質B (屈折率、 $n_B$ ) を交互に積み重ねた周期 $a = (t_A + t_B)$ の構造とする。

【0017】本発明者らの実験によると、多層膜層1の端面1aを研磨して波長 $\lambda$ のレーザ光 (入射光) 3を入射させると、大部分の光は多層膜層1内部での導波光となる。ところが、一部の光は基板側への漏出光4となる。この漏出光4の方向 (角度 $\theta$ ) は波長 $\lambda$ に対してほぼ一定であり、指向性の非常に良い光束となる。また、 $\theta$ の値は $\lambda$ が異なると大きく変化するため、高分解能の分光素子として利用することができる。この構造の光学素子では、漏出光は多層膜層表面の空気側にも生じる。入射光強度に対する漏出光強度を向上させるためには、漏出光を多層膜層1の片側に集中させて利用するのが望ましい。このために、多層膜層1の表面に反射膜5を形成すると有効である。

【0018】上記現象の原理について簡単に説明する。図2は本発明が対象とする周期的多層構造体100の一例を示す斜視図である。屈折率 $n_A$ をもち厚さ $t_A$ の物質Aと屈折率 $n_B$ をもち厚さが $t_B$ の物質Bが層状に繰り返しY方向に積層されている。各層の境界面、表面100bは(X、Z)平面内において互いに平行である。この境界面、表面100bをここでは層面と総称する。この多層構造体の周期 $a$ は $(t_A + t_B)$ に等しい。

【0019】このような周期的多層構造体の端面 (層面とは平行でない面) 100aに波長 $\lambda$ の光を入射したとき、この光がこの周期的多層構造体100内でどのように伝搬するか解析すると、一定条件においてこの周期的多層構造体100はいわゆるフォトリソグラフィ結晶としてはたらく、伝搬する光に特異な効果を発現させることがわかる。

【0020】ここで、屈折率が均質な2つの媒体の境界

における光の屈折を作図によって表現する方法を図3を用いて説明する。屈折率 $n_A$ の媒体Aと屈折率 $n_B$ の媒体B ( $n_A < n_B$ とする)の媒体A側境界面近傍を、境界面と平行に進む光線 $R_A$ は、角度 $\theta$ の屈折光 $R_B$ となって媒体B側に放出される。

【0021】この角度 $\theta$ は、半径が $n_A$ と $n_B$ に比例した2つの円 $C_A$ 、 $C_B$ を用いた作図によって求めることができる。図3に示すように円 $C_A$ 、 $C_B$ を描く。光線 $R_A$ に対応する方向をもつベクトルを円 $C_A$ 上からの法線として描く。この円 $C_A$ 上の点から2つの円の中心を結ぶ直線に平行な直線を引き、円 $C_B$ との交点を求める。この交点から円 $C_B$ の法線方向にベクトルを描くと、これが屈折光 $R_B$ の方向を示している。この円 $C_A$ が均質物質Aに波長 $\lambda$ の光が伝搬する際のもっとも基本的なフォトリックバンドに相当する。

【0022】周期的多層構造体に対してもフォトリック結晶の理論によりバンド図を計算することができる。計算の方法は、“Photonic Crystals”, Princeton University Press (1995)あるいは、Physical Review B 44巻、16号、p. 8565、1991年、などに詳しい。

【0023】図2の周期的多層構造体100はY方向(積層方向)には無限に続く周期構造を有し、XおよびZ方向(平面の広がる方向)には無限に広がっていると仮定する。図4は、

$$n_A = 1.44 \quad (t_A = 0.5a)$$

$$n_B = 2.18 \quad (t_B = 0.5a)$$

の層を交互に重ねた周期 $a$ の多層構造体についての、平面波法によるバンド計算の結果を、複数の波長に対するTE偏光の第1～第3バンドについて示したものである。各図は、逆空間における1周期を表わすブリルアンゾーンである。縦はY軸方向で上下の境界線は中心から $\pm \pi/a$ の範囲を表わす。横はZ軸方向(X軸方向も同じ)であり、周期性がない方向なので境界線は存在せず、図の両端は計算の範囲を示す便宜的なものである。ブリルアンゾーン内での位置は多層構造内での波数ベクトルを、曲線は入射光の波長 $\lambda$ (真空中)に対応するバンドを意味する。なお、図4の各曲線に対して示した数字は多層構造体の周期/波長( $a/\lambda$ )の値である。周期的多層構造体に対するバンド図は $a/\lambda$ がある値より大きくなると、不連続(いわゆるフォトリックバンドギャップ)が生じる。

【0024】図5は波長 $\lambda$ の入射光3が周期的多層構造体に入射したときのZ軸方向への導波光とそれらがこの多層構造体の両側の表面に接する媒体M1、M2への屈折光を第3バンドについてそれぞれ示している。多層構造体内の光線はバンド図に示される曲線の法線として表わされるので、第3バンドにおけるZ軸方向の導波光は図5に示す3A、3Bで表される。本発明者らの研究によると、3Aより3Bの方が導波光強度の大きい。各導波光は、多層構造体表面に接する媒体との界面から屈折

光となって出射される。ただし、屈折光が放出されるためには、図から明らかなように、各円の半径で表される媒体の屈折率が一定値より大きい必要がある。

【0025】同じ導波光に対応する屈折光角度 $\theta$ は、ほぼ一定値となり、出射光は非常に指向性の良い光束となることが予想される。 $\theta$ の値は入射光の波長 $\lambda$ による差が大きいので、高分解能の波長分離が実現する。したがって、図1の構成による多層構造体は高解像の分光素子として用いることができる。

10 【0026】周期的多層構造体は、図2に示すような2種類の物質による構成に限定されない。物質は3種類以上であってもよい。ただし積層は各層の屈折率、厚みが一定の周期をもっている必要がある。周期的多層構造体は一般的には $n$ 種類( $n$ は正の整数)の物質の積層体からなる。1周期を構成する物質1、2、 $\dots$ 、 $n$ の屈折率を $n_1$ 、 $n_2$ 、 $\dots$ 、 $n_n$ 、厚さを $t_1$ 、 $t_2$ 、 $\dots$ 、 $t_n$ とする。また使用波長 $\lambda$ における多層構造体一周期あたりの平均屈折率 $n_M$ を

$$n_M = (t_1 \cdot n_1 + t_2 \cdot n_2 + \dots + t_n \cdot n_n) / a$$

と定義する。1周期 $a$ は、

$$a = t_1 + t_2 + \dots + t_n$$

である。

【0027】本発明に適した多層構造体の平均屈折率と周期に関する条件は、

$$0.5\lambda / n_M \leq a$$

により表わされる。この範囲であれば、 $0.5\lambda / n_M = a$ の近傍に存在する積層方向のバンドギャップよりも $a/\lambda$ が大きくなるのでフォトリック結晶による効果を発揮することができる。周期 $a$ が上記条件の範囲よりも小さくなると、多層構造体の特性は平均屈折率を有する均質媒体に近いものになってしまう。

30 【0028】さて以上のような機構に従って漏出光(屈折光)は生じるので、一般には図6に示すように多層膜層1を挟んだ両側の媒体M1、M2に対してそれぞれ漏出光(屈折光)7、8を生じる場合もちろん存在し得る。ある屈折率を持つ媒体に対し多層膜を挟んだ両側に屈折光を生じる場合は、これらを片側への光の屈折効率という観点で見ると、入射光の分割によって屈折光強度が低減することが容易に分かる。本発明では、多層膜片面に反射層を設けることにより、屈折光を反射層の逆側に集中させ強度を上昇させた。

40 【0029】まず反射層の効果を確かめる実験について説明する。実験用試料として、厚さ1mm、直径30mmの円盤状石英基板の片側表面に、TiO<sub>2</sub>(厚さ215nm)の薄膜とSiO<sub>2</sub>(厚さ215nm)の薄膜を交互に形成したものを1周期とし、これを20周期(40層)繰り返した多層膜層を準備した。空気と接する表面はSiO<sub>2</sub>層である。

50 【0030】上記円盤を、図7に示す形状のサンプル50に加工した。図7上側が準備した実験用試料50の断

面図、下側が平面図である。上記のような多層膜層 1 を堆積した円盤状石英基板から幅 1.5 mm、長さ 20 mm の直方体を切り出す。次いで、多層膜のない石英基板 52 の裏面側を斜め 45° に切削、研磨する。45° の斜め面 54 は、基板 52 側への屈折光が基板 52 内部で全反射することなく観察できるようにするために設けたものである。

【0031】多層膜層 1 部分（厚さ 8.6 μm）の端面 1a に、図 8 の装置で He-Ne レーザ光（波長 632.8 nm）12a を送りこんだ。ただしレーザ光 12a は 1/4 波長板 13 と偏光プリズム 14 により、多層膜層 1 に対して TE 偏光にした後、対物レンズ 15 により概略開口数 NA=0.1 の収束光とし、その焦点位置に多層膜層 1 を置き入射光 3 とした。フォトニック結晶の効果により生じた屈折光の角度と強度は f-θ 対物レンズ 16 および CCD カメラ 17 により測定した。

【0032】その結果、

基板側で θ1=55°

空気側で θ2=30°

の方向に強度の大きい 3B 屈折光を検出した。入射光の強度を基準とした屈折効率は、

基板側 27%

空気側 18%

であった。

【0033】つぎに、図 9 のように多層膜層 1 の表面に接してアルミニウム膜による反射鏡 18 を設置して形成し空気側への屈折光の漏洩を防いだところ、基板 52 側への屈折効率は 36% に上昇した。このように、反射層の形成により、多層膜層 1 から片側への漏出光を増強できることが確認された。

【0034】つぎに上記の原理に基づいて構成した本発明の光学素子の構造例を示す。図 10 は使用波長域に対して透明な基板 2 の上に多層膜層 1 を形成し、多層膜層表面に反射層 5 を形成させたものであり、導波光 6 は反射層 5 のため空気側に漏れていかず、基板 2 側への屈折光 8 だけとなる。

【0035】一方、図 11 に示すように光反射層 5 を基板上に形成し、その上に多層膜層 1 を形成する形態をとることもできる。導波光 6 は反射層 5 のため基板 2 側に漏れていかず、空気側への屈折光 7 だけとなる。

【0036】本発明に用いる多層膜の材料としては、使用波長域における透明性が確保できるものであれば特に限定はないが、一般的に多層膜の材料として用いられていて耐久性や製膜コストの点で優れたシリカ、酸化チタン、酸化タンタル、酸化ニオブ、フッ化マグネシウムなどが適する材料である。ただし、材料間の屈折率差が小さいと変調作用が弱くなり、期待される作用が発揮されないこともあるので、屈折率差として 0.1 以上確保することが望ましい。材料を適切に選定すれば、本発明の作用は通常使用される 200 nm~20 μm 程度の波長

範囲で発揮される。

【0037】1 周期内における多層膜の構造は、物理的厚さの等しい 2 層とするのが最も単純であるが、(1) 2 層の膜厚比を変える、(2) 3 層以上とする、(3) 膜材質を 3 種以上とする、といった手段により平均屈折率やバンド構造の調整を行ない、分波特性や偏光特性、入射光の利用効率の改善などに役立てることも可能である。また、多層膜を構成する各層が、連続的に屈折率が変化するものであっても、屈折率差が確保されていれば特性はほとんど同じとなる。

【0038】基板の材質としても、使用波長域における透明性が確保できるものであれば特に限定はなく、ソーダライムガラス、光学ガラス、シリカ、シリコン、あるいはガリウム砒素などの化合物半導体などが適する材料である。温度特性などの限定が小さければ、プラスチック材料でも良い。ただし、図 5 に示されるように、多層膜層のバンド図との関係で漏出光が発生するような屈折率でなければならない。

【0039】多層膜を形成する方法としては、真空蒸着、スパッタ、イオンアシスト蒸着、CVD 法などを利用することができる。基板の材質としては、

(1) 基板側への漏出光を必要とする場合（図 10）

(2) 空気側への分散光を必要とする場合（図 11）

の二通りで適する材料が異なる。(1) の場合使用波長域における透明性が確保できるものであれば特に限定はなく、ソーダライムガラス、光学ガラス、シリカ、シリコン、あるいはガリウム砒素などの化合物半導体などが適する材料である。温度特性などの限定が小さければプラスチック材料でも良い。ただし多層膜のバンド図との関係で分散光が発生するような屈折率でなければならない。(2) の場合、多層膜と基板との間に反射層を設けるため、特に基板に対する屈折率等の制限はないが、熱膨張率の小さい石英ガラス、結晶化ガラスなどの材料が好ましい。

【0040】反射層としては、一般的な単一反射膜や多層干渉反射膜などを用いることができる。単一反射膜の材料は使用波長域に対し高反射率を有するものなら特に制限はなく、例えば銀、アルミ、金、シリコン、ゲルマニウムなどの薄膜を使用することができ、成膜手段としては蒸着、スパッタ法などを用いることができる。上記の方法は、多層膜層と反射層を一体化する場合の例であるが、多層膜層の空気側表面に近接して別個の光反射手段、例えば反射鏡を設置してもよい。

【0041】本発明による屈折光はたとえば図 12 のように凸レンズ 9 により集光して、光検出器 10 上に波長ごとに集光させれば分光装置として使用することができる。すなわち異なる波長 λ1、λ2 の光を多層膜層 1 の端面 1a から入射させた場合、それぞれの波長の光は異なる角度で多層膜層表面 2a から漏出し、光検出器 10 上の異なる位置に入射する。

【0042】また、図13のように基板2が平行平面で光線の導波方向に十分に大きい場合は、基板2側への屈折光4は全反射を繰り返し、基板端面からその幅の光束11となって射出される。この場合は、出射光が2方向に分離してそれぞれの強度が弱くなるが、出射面の幅が基板の厚さにほぼ等しくなるので、レンズなどによる集光を行わなくても細い線状の光束とすることができる。さらに、円筒形状の凸レンズなどを用いれば細い線状の像を点像に近くして光強度を大きくすることもできる。

#### 【0043】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、周期的多層構造体、とくに周期的多層膜層からの屈折光の漏洩を反射層を形成することで有効に利用でき、出力効率を高めることが可能となる。これは分光装置を構成する際にも有効である。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光学素子の基本構造を示す模式図である。

【図2】本発明の周期的多層構造体を示す説明図である。

【図3】2層の均質物質における導波光と屈折光の関係を示す図である。

【図4】周期的多層構造体のフォトニックバンド図の一例を示す図である。

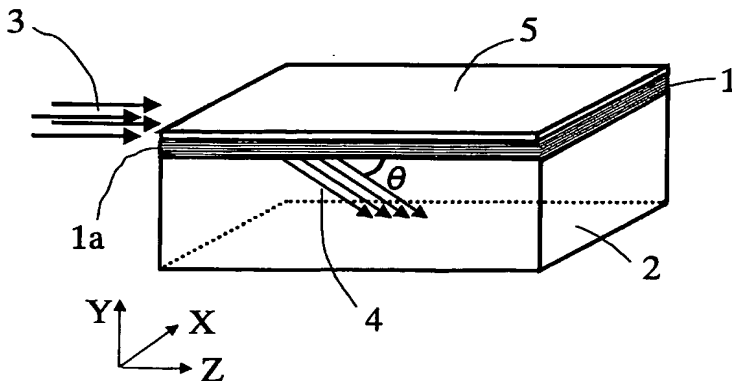
【図5】周期的多層構造体のフォトニックバンド図と両側表面からの屈折光の関係を示す図である。

【図6】本発明の光学素子の基本的構成および機能を示す図である。

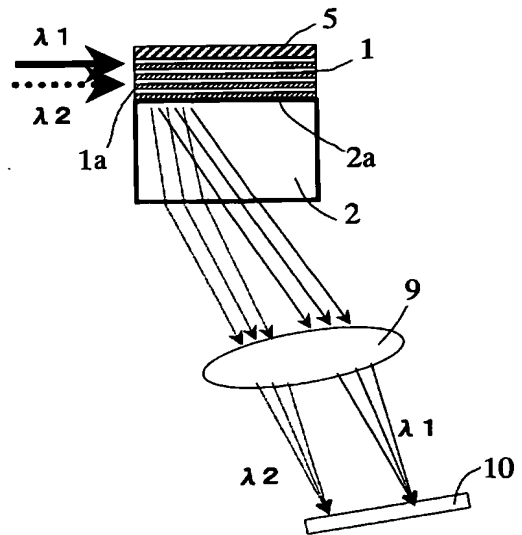
【図7】実験用試料の形状を示す図である。

【図8】実験用光学系を示す図である。

【図1】



【図12】



【図9】他の実験用光学系を示す図である。

【図10】本発明の反射層を設けた光学素子の実施例を示す図である。

【図11】本発明の反射層を設けた光学素子の他の実施例を示す図である。

【図12】本発明を分光装置の構成図である。

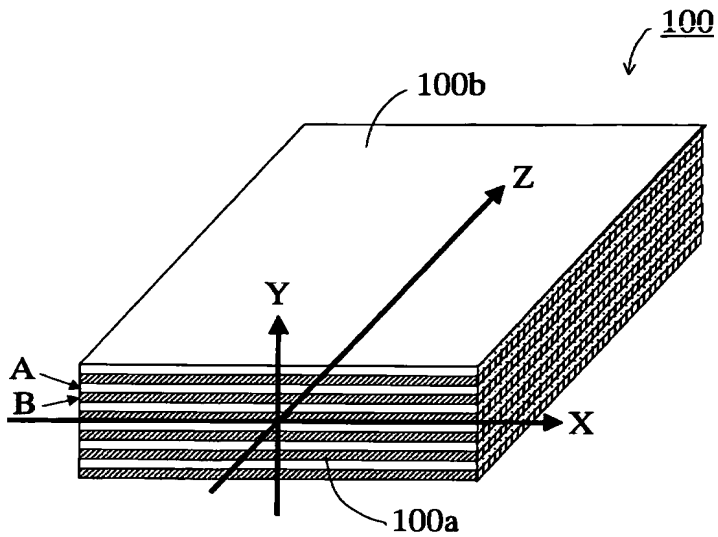
【図13】本発明の分光装置の他の構成を示す図である。

【図14】回折格子を用いた分光光学系の従来例を示す図である。

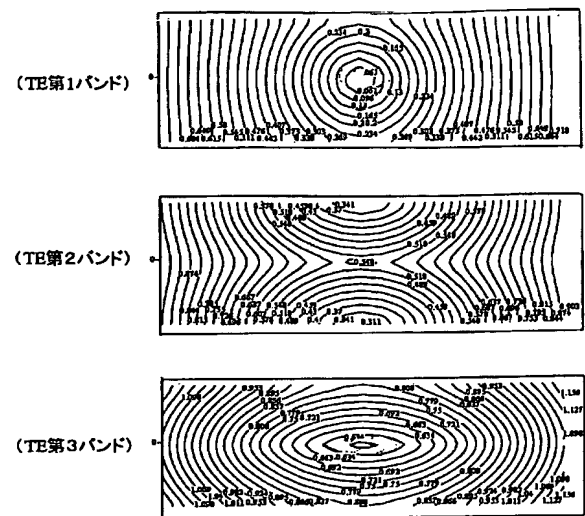
#### 【符号の説明】

- 1 多層膜層
- 1 a 多層膜層の入射端面
- 2、5 2 基板
- 3 入射光
- 4、7、8 漏出光
- 5 反射層
- 9 凸レンズ
- 10 光検出器
- 11 出射光
- 12 レーザ光源
- 12 a レーザ光
- 13 1/4波長板
- 14 偏光プリズム
- 15 対物レンズ
- 16 f-θ対物レンズ
- 17 CCDカメラ
- 18 反射鏡
- 50 実験用試料

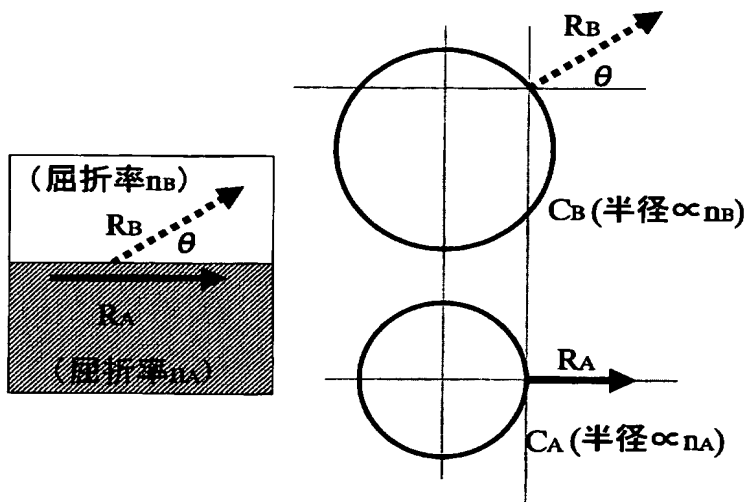
【図2】



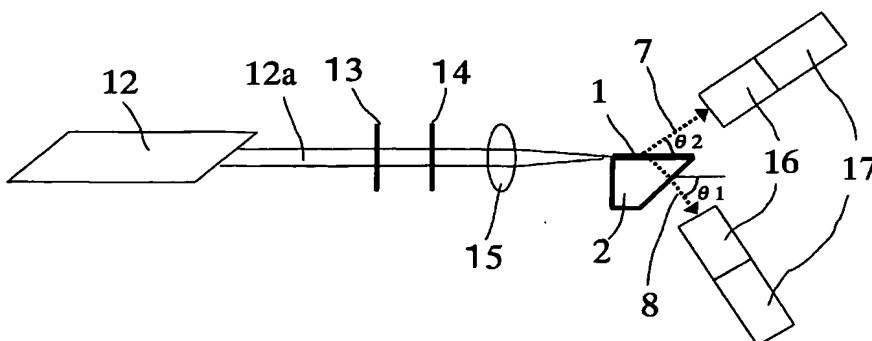
【図4】



【図3】

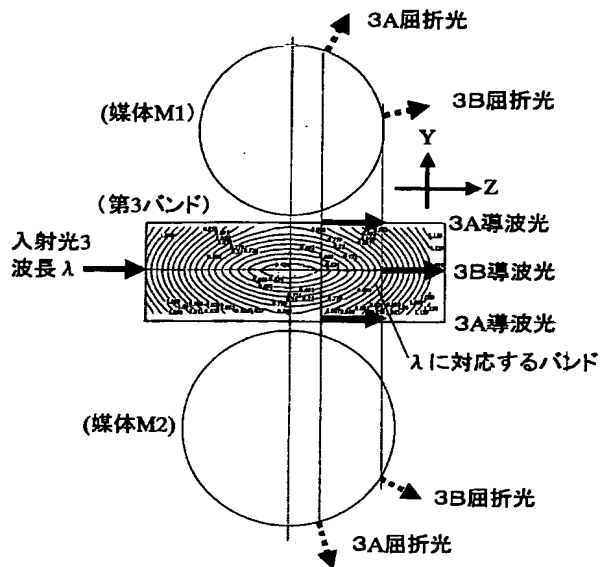


【図8】

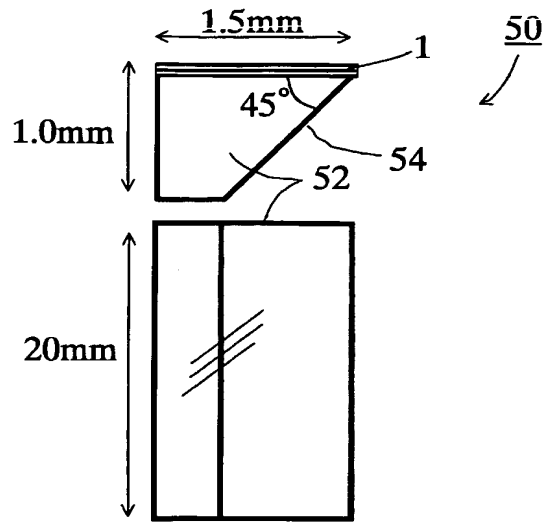




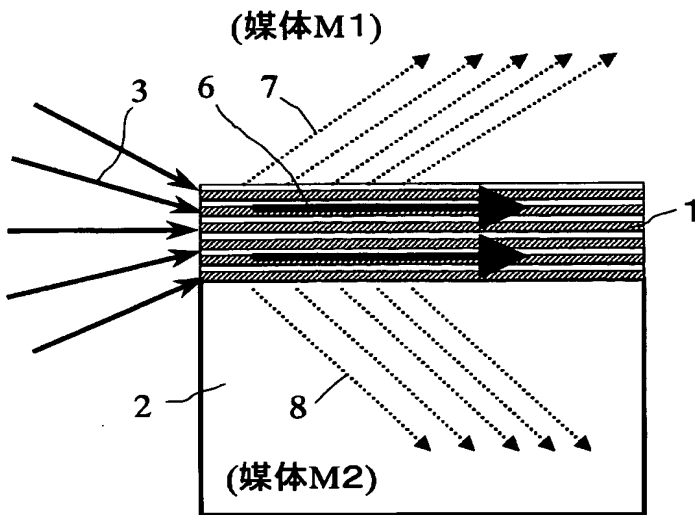
【図5】



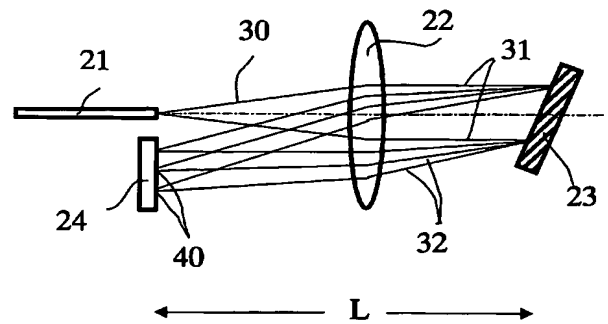
【図7】



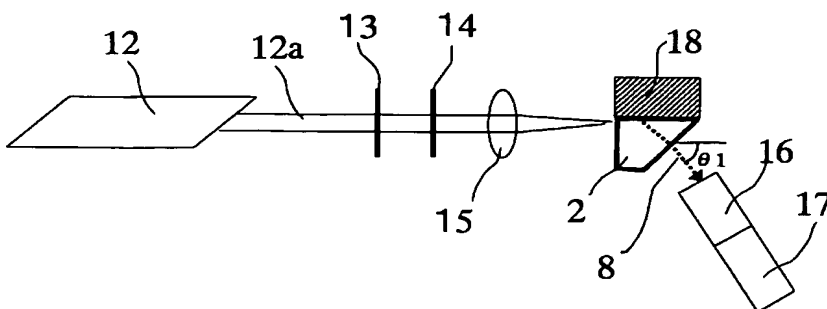
【図6】



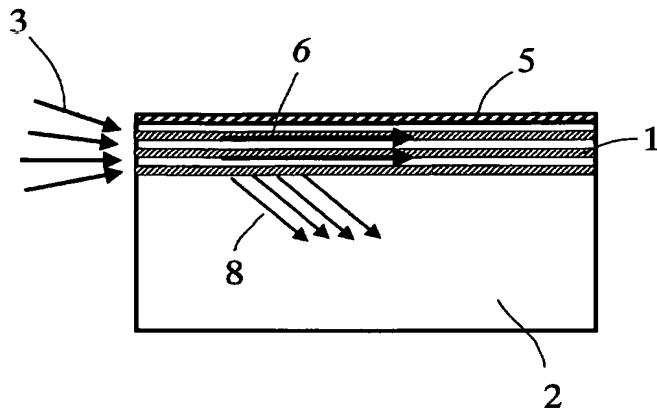
【図14】



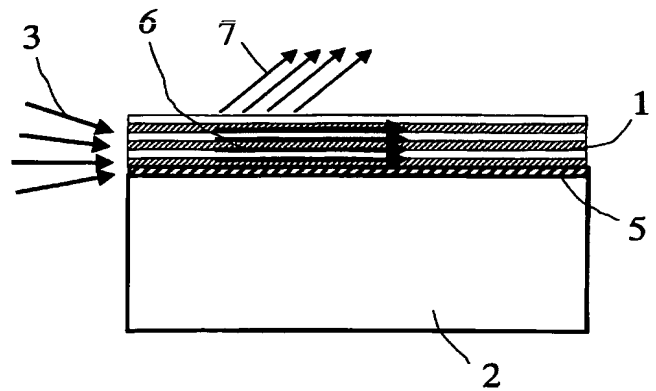
【図9】



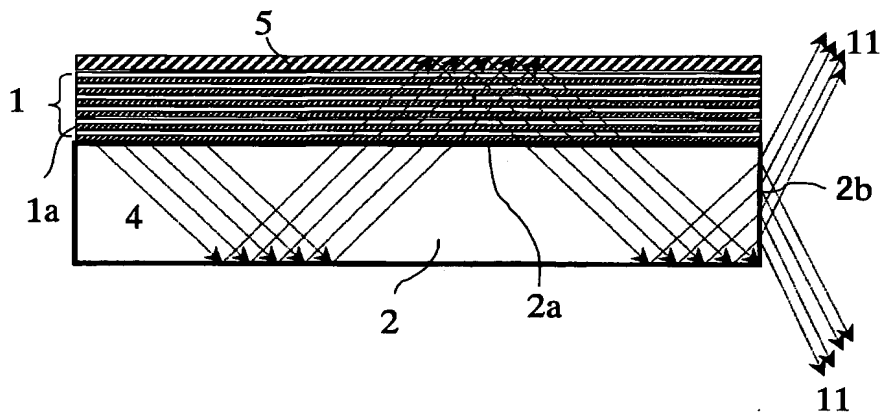
【図10】



【図11】



【図13】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I  
G O 2 B 6/12

テーム (参考)

Z

F ターム (参考) 2G020 AA03 AA04 AA05 BA20 CA17  
CB04 CB23 CC32 CD22  
2H047 KA02 LA18 NA08 QA04 RA08  
TA01 TA37  
2H049 AA02 AA50 AA59 AA62 BA05  
BA43 BB06 BB62 BB63 BC25

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**